

地球物理测井在开封地热勘察中的应用效果

朱命和, 苗青, 付中

(河南省地矿局第十一地质队, 河南 商丘 476000)

摘要: 论述了电法测井在开封市地热勘察中的作用, 根据物性反映确定热储层和止水封孔位置, 估计单井涌水量等, 对地热开发起到了关键作用, 文中还简述了自然电场形成的机理和地热水中所含离子成分对电测曲线的影响。

关键词: 电测井; 扩散吸附; 矿化度; 热储层

1 地热田概况

开封市地下广泛分布着地热资源, 热储层厚而稳定, 热水为优质天然矿泉水水温适中, 加上开封是旅游观光胜地, 所以地热资源开发前景看好。

1.1 地质条件

开封凹陷属济源—开封坳陷的次一级构造单元, 位于该坳陷的东南隅, 其南侧为通许隆起, 北侧是封丘凹陷, 基底组成为下古生界地层, 在新生代时, 开封凹陷内沉积了巨厚的新生界地层, 其中第四系地层厚 300~410m, 岩性为冲积和湖积的粘土、亚粘土、粉砂—细砂层组成, 第三系地层厚 3000 多米, 岩性为泥岩、砂质泥岩与细—中砂岩为主, 呈互层状产出。

开封地热田的展布主要受三组构造控制, 南侧为近东西向的通许隆起, 北东向有走向北西的黄河大断裂(F_1), 次级断裂有北东向的开封断裂(F_2), 近东西向的郑州—开封断裂(F_3), 还有北西向的 F_5 、 F_7 断层。由于这些断裂的存在, 为地球内部热流向上对流传导提供了通道, 并将热能汇集于第三系底部, 以传导的方式向上覆热储层传输热能。盆地内的第四系地层以热导率低的粘土、亚粘土为主, 形成了该地热田的盖层, 使得由地球内部散发出的热量在热储层中得以储集和保存。

热储层在沉积时所含的地下水是很有限的, 地热水的补给源主要是开封西部山区的大气降水, 经出露的热储层和断裂裂隙渗透到较深的热储层中, 这部分水在经漫长运移过程中被加温。并溶解了岩石中的化学元素, 使现在开采出来的地热水富含多种微量元素而成为优质天然矿泉水。

1.2 开封地热井分布

开封市位于开封凹陷的南翼, 在城区 200km² 内, 开发的地热井有几十眼, 在其周围的尉氏、太康、通许、开封县等也有许多地热井开发。

该区开发的地热井, 是经钻探开凿而成, 开采层位是 800~1580m 深的层状热储层, 都是上第三系地层中的细砂岩和含砾砂岩, 该热储层分布广且稳定, 水温变化范围从 42℃~86℃不等, 主要适合于旅游服务业综合开发利用。

2 测井曲线在热储层上的特征

地球物理测井在开封市的地热勘察中占着十分重要的位置, 目前所有的地热井勘探均为无岩芯钻进, 在一眼 1500 多米深的地热井中, 靠钻探判层和捞取几十个岩屑样是不能准确反映

地层岩性剖面, 而岩屑样代表的深度又不易确定, 根本无法确定含水层的埋深和厚度及地层水的矿化度, 为了准确判断热储层位置, 地球物理测井方法就成为地热井勘探中的必选手段。

测井曲线的连续变化, 能准确的反映出地层和岩性剖面, 经解释的地层厚度能精确到 5cm。加上井温测量成果确定取止水位置, 给下滤(取)水管成井提供了可靠的资料, 也是地热井的成井关键所在。

在不同的地层和岩性上, 测井曲线反映的特征是不同的, 当在新生界上第三系中部的含水层位置时, 地层反映的特征见图 1, 从图上可以看出, 在视电阻率高阻相对应的位置上, 自然电位呈现正值高异常。幅值为几十毫伏, 反映了砂层的孔隙中含有低矿化度的地下水。一般情况下, 地层水的含盐度(C_0), 小于泥浆滤液含盐度(C_0), 当钻孔穿透砂层时, 泥浆滤液中的正负离子向砂层孔隙水中扩散。由于扩散过程中正负离子的运动速度(迁移率)存在差异, 负离子的迁移率大于正离子的迁移率, 导致砂层位置上泥浆滤液中正离子数量相对增高, 在井壁四周形成几个由正离子组成的“离子墙”。当测量电极(M)进入正离子富集(含水砂层)段时, M 电极处的电位高于地面泥浆池中的 N 电极电位, 使测量的自然电位呈正异常反映, 如图 1 所示。对于孔隙多而泥质少的岩层, 以正负离子扩散作用形成的电动势是主要的。

但是对于泥岩、砂质泥岩等渗透性差的岩层, 该层位上往往是负离子较多, 与前述的结果根本不符。对于这类岩层, 产生电动势的原因不能单纯的用扩散作用来解释。

扩散吸附作用可以说明以上提出的问题, 正、负离子位于含泥质岩层段时, 由高浓度泥浆滤液(C_0)向低浓度地层水(C_0)岩层中扩散时, 由于泥浆侵入带中粘土矿物表面具有吸附负离子的作用, 使负离子扩散速度大大降低, 其有效迁移率比正离子小许多, 这样以来在泥浆中负离子相对较多, 电动势的方向与砂层和泥浆接触时扩散电动势方向相反。在这个过程中, 有扩散作用, 也有吸附作用, 就改变电动势极性这一点来说, 吸附作用应是主要的。在图 2 中, 井深 1006~1024m 处是富水段, 自然电位是正异常反映, 而上部的泥岩段(975~1006m)由于地层为含泥质较多的岩层, 所以自然电位相对于含水层段呈负异常, 幅值低平。根据这一特征, 可有效的判定地热水赋存位置和计算成井后的水温。

地层中的砂岩、砂砾岩, 其本身几乎是不导电的, 电阻率一般为 $10^{10}\Omega\cdot m$, 在砂层上实测电阻率基本上是地层中孔隙水的电阻

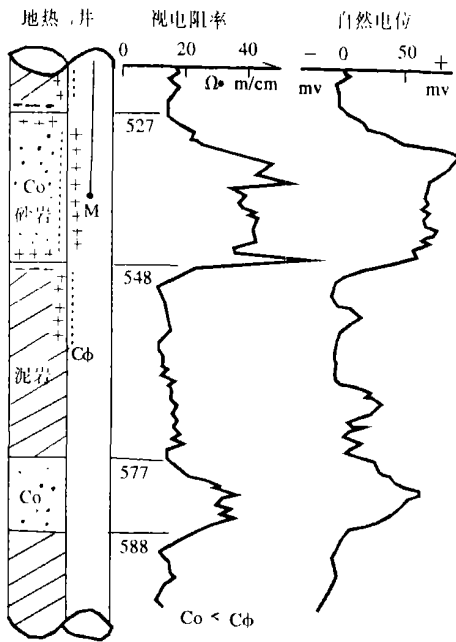


图1 上第三系中部地热水层在电测曲线上的特征

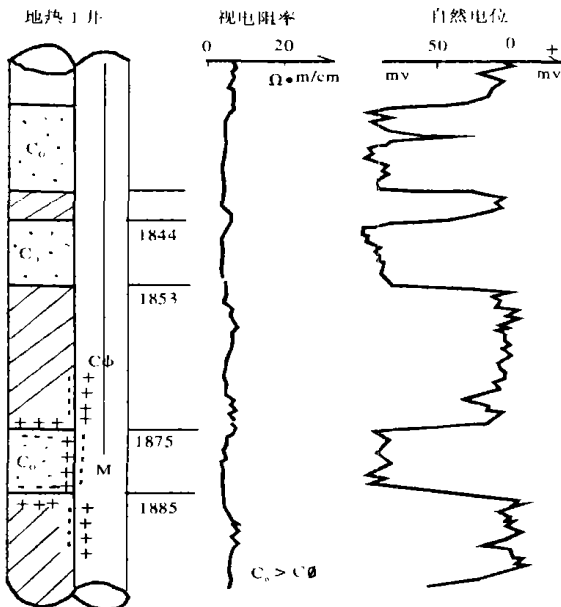


图2 下第三系热水层在电测曲线上的特征

率值, 图2为实测井段, 其电阻率值很低, 造成砂岩层电阻率降低的原因除了井径、泥浆侵入带、围岩等影响外, 另一个主要因素是砂岩孔隙水的化学性质。本区第三系下部砂岩水中含有多种离子成分, 这些离子以 K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Sr^{2+} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 F^- 为主, 在孔隙水中处于自由状态。测井时在供电电场的作用下, 这种带电离子沿电场方向运动, 使地层水变成良导体。如果保持测量技术条件不变(测程、供电电流、电极系、泥浆性质、钻孔直径), 则所测视电阻率值比正常情况下偏低(本区砂岩一般

为 $30 \sim 60 \Omega \cdot m$)。图2中 1844~1853m 和 1875~1885m 两砂层位置上, 视电阻率值只有 $5 \Omega \cdot m$ 左右, 这与图1中砂层电阻率值相比幅值降低许多, 造成该井段用电阻率曲线无法解释含水层。对于自然电位来讲, 由于高矿化度($> 4687 mg/L$)的地层水与低矿化度($1000 mg/L$)泥浆接触中存在扩散作用, 就产生了扩散电位, 形成砂岩处积累了较多的带电负离子, 所以该深度的含水砂层在自然电位上呈现较高的负异常值。这与浅部砂层中含淡水($< 1000 mg/L$)的反映正好相反, 浅部淡水砂层的自然电位曲线为正异常, 因此自然电位测井方法是解决地热井中高矿化度热水层深厚度的有效方法。

该区第三系热储层赋存的深度不同, 各种离子的含量也有差异, 一般埋深于 $800 \sim 1300 m$ 的地热水矿化度在 $700 \sim 1200 mg/L$; $K^+ + Na^+$ 离子的含量为 $200 \sim 760 mg/L$; Cl^- 离子含量为 $30 \sim 40 mg/L$; HCO_3^- 离子为 $350 \sim 600 mg/L$; SO_4^{2-} 离子为 $40 \sim 80 mg/L$; H_2SiO_3 (偏硅酸) 含量为 $20 \sim 360 mg/L$; Si^{2+} 含量 $> 0.2 mg/L$; 达到天然矿泉水标准, 为含锶优质天然矿泉水, 水化学类型为 $HCO_3^- Na$ 型, $1300 m$ 以下的热储层地热水中离子含量急剧增加, 其中 $K^+ + Na^+$ 含量为 $1600 mg/L$; Cl^- 离子含量为 $4500 mg/L$; H_2SiO_3 含量为 $50 \sim 60 mg/L$; 水化学类型为 $Cl^- Na$ 型, 达到医疗保健地热水标准。由于地热水中的离子含量随埋深和地温的增高而急剧增加, 形成了视电阻率曲线幅值在含水砂层上从上向下逐渐降低。

3 结论

在近几年的地热开发中, 我们充分利用电法仪器耐高温和自然电场在热储层上反映明显的特点, 配之以地温测量, 能准确的划分热储层深度和厚度及封孔止水位置, 估计单井出水量和水温等, 对指导地热井施工和成井起到了关键的作用, 例开热6井(小北岗), 井深 $1306 m$, 经过电测和井温测量, 于 $1160 \sim 1290 m$ 深度内划分出含水层12层, 累厚 $43.80 m$, 计算单井出水量 $30 m^3/h$ 和出水温度 $48^\circ C (\pm 2^\circ C)$ 。成井后经抽水试验实际出水量为 $36.90 m^3/h$ 。水温达 $51^\circ C$, 效果良好。例开热18井(节水办东), 钻井深度 $863 m$, 测井后于 $700 \sim 850 m$ 段内划出含水砂层厚 $52.70 m$, 计算单位涌水量 $42 m^3/h$ 和水温 $40^\circ C (\pm 2^\circ C)$, 成井后经过抽水试验证实出水量 $46.30 m^3/h$, 水温达到 $41.5^\circ C$, 实现了原设计目的。

在开封的地热勘察中, 根据电测仪器的特点, 合理的选择测量技术条件, 认真分析测井和测温曲线, 能准确划分热储(含水)层的深厚度和止水段, 对指导地热井的施工和成井过程来讲, 可以起到决定性的作用。

参考文献:

- [1] 西安地院测井教研室. 水文测井方法[M]. 西安: 陕西地矿局印刷, 1984.
- [2] 地矿部水文地质技术方法研究队. 水文地质手册[M]. 北京: 地质出版社, 1983, 8.
- [3] 中国矿业学院物探教研室. 中国煤田地球物理测井[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 1983, 5.
- [4] J. K. 哈伦堡. 地热测井资料解释[M]. 北京: 石油工业出版社, 1989, 12.